引用格式：中国科学院西北生态环境资源研究院. 中国科学院玉龙雪山冰冻圈与可持续发展野外科学观测研究站. 中国科学院院刊, 2024, 39(3): 579-581, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20240222001.
Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, CAS. Yulong snow mountain national field observation and research station for cryosphere and sustainable development. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2024, 39(3): 579-581, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20240222001. (in Chinese)

中国科学院玉龙雪山冰冻圈与可持续发展野外科学观测研究站

中国科学院西北生态环境资源研究院　兰州　730000

DOI　10.16418/j.issn.1000-3045.20240222001
CSTR　32128.14.CASbulletin.20240222001

中国科学院玉龙雪山冰冻圈与可持续发展野外科学观测研究站（以下简称“玉龙雪山站”）始建于2006年，是我国第一个以海洋性冰川与环境为观测与研究对象的国家级野外站，依托单位为中国科学院西北生态环境资源研究院。玉龙雪山站地处青藏高原东南缘的云南省丽江市玉龙纳西族自治县白沙镇（27°1′17.25″ N，100°14′6.08″ E，海拔2 600 m），2013年进入中国科学院高寒区地表过程与环境观测研究网络，2019年获批为中国科学院院级站，2021年进入科学技术部国家野外科学观测研究站序列。玉龙雪山站是中国乃至全球海洋性冰川监测的典型代表，是我国冰冻圈科学研究以及冰冻圈与可持续发展协同研究的重要野外支撑平台和研究基地。

修改稿收到日期：2024年2月26日

1 研究目标与定位

研究目标。瞄准冰冻圈与可持续发展的关键科学问题，立足全球海洋性冰川最具代表性区域——玉龙雪山，辐射中国海洋性冰川区，通过长期定位监测，深入揭示冰冻圈变化过程与机理，系统评估冰冻圈变化的水文、生态与气候效应及其综合影响，提出冰冻圈服务结构优化与冰冻圈防灾减灾方案，为区域可持续发展提供科技支撑。

研究定位。玉龙雪山站未来将建设成为：冰冻圈科学研究基地，冰冻圈服务与冰冻圈防灾减灾科技成果转化基地，基础研究与社会应用服务相结合的科研示范基地，以及科普、环境教育、教学实践、实习于

一体的人才培养基地，为“冰天雪地也是金山银山”“山水林田湖草沙冰生命共同体”路径转化提供科技支撑，使玉龙雪山站在长期冰冻圈与可持续发展研究和解决国家重大需求方面达到国际并行水平。

主要研究方向。① 冰冻圈变化过程与机理。冰冻圈变化的长期监测与对比研究；冰冻圈变化过程的规律和机理。② 冰冻圈变化的环境效应及其影响。冰冻圈水文过程及其水资源效应；冰冻圈变化的气候效应及对生态系统的影响。③ 冰冻圈与区域可持续发展。冰冻圈的服务功能及结构优化；冰冻圈的灾害风险与防灾减灾；冰冻圈与区域可持续发展。

2 研究成果与科学贡献

建站20年来，玉龙雪山站建成了重要科学研究平台，取得了原创性基础研究成果，主要包括：① 建成了玉龙雪山站“一站四区”（玉龙雪山站，梅里雪山、岗日嘎布、贡嘎雪山和达古雪山研究区）空间观测网络体系，提升了协同观测能力；② 基于长期定位观测，建立了亚欧大陆距赤道最近、时间序列最长的海洋性冰川物质平衡数据集，对比研究了白水河1号定位监测冰川与全球参照冰川的物质平衡；③ 揭示了海洋性冰川变化的水文、细菌微生物及其气候环境效应，明晰了冰雪融水对地表径流及其地下水的补给作用，分析了冰川退缩迹地细菌群落结构差异及其影响因素，评估了冰川吸光性杂质的气候效应；④ 有效服务于区域水资源优化配置、冰雪旅游可持续发展，以及冰冻圈防灾减灾等重大社会需求等。研究成果在国内外产生了重要影响，极大地推动了冰冻圈化学、冰冻圈微生物学、冰冻圈灾害学等学科体系的形成与发展，同时有效服务于区域可持续发展。

玉龙雪山站科研人员先后在国内外重要期刊发表研究论文1 000余篇，出版论著15部、参编30余部，授权发明专利10项、软件著作权12项，提交决策咨询建议或报告20余份。2021—2022年玉龙雪山站获得了多项奖励，包括：由玉龙雪山站学术委员会主任秦大河院士主编、玉龙雪山站参与编写的《冰冻圈科学》获全国优秀教材（高等教育类）特等奖；秦大河领衔、玉龙雪山站参与的冰冻圈科学研究集体获中国科学院杰出科技成就奖；冰冻圈化学及其冰冻圈微生物相关研究成果分获甘肃省自然科学奖一等奖和甘肃省科技进步奖一等奖。

3 人才培养与队伍建设

玉龙雪山站已形成了冰冻圈野外科学观测与研究的科研队伍和稳定的监测力量。目前，长期在站工作人员23名，其中研究人员17名，观测、技术和管理人员6名。玉龙雪山站优秀人才云集，国家自然科学基金杰出青年基金获得者1人，中国科学院青年促进会会员3人。此外，聘任客座研究员15名，其中外籍专家2人。

建站以来，玉龙雪山站共培养硕士、博士、博士后120余名。目前在站研究生20人，其中5人获得国家奖学金。每年到站开展实验研究工作的研究生100余名。

4 科研能力与技术平台

玉龙雪山站区现有会议室、办公室、仪器室、实验室，以及专家公寓、学生与研究人员宿舍20余间。仪器设备60余套，总价值约1 200万元。建成长期野外监测样地和实验平台，“一站四区”（玉龙雪山站、梅里雪山、岗日嘎布、贡嘎雪山和达古雪山研究区）空间观测网络体系，长期野外观测样地总面积30 km^2，包括7个不同海拔梯度气象观测场、3处冰川观测场、4处冰雪径流观测点；建有室内测试、分析平台300 m^2；研发中国第一套冰川实时监测系统（由全球导航卫星系统、激光测距、相机、气象、冰温等模块组成），获取了冰川物质消融、积累及其冰流速等实时数据信息，实现了数据采集的连续性、精确性及

其数据传输的在线可视化；建成全球冰冻圈与可持续发展数据可视化平台，实现了玉龙雪山站气象、冰川、径流监测站点视频、数据的可视化，以及离线数据的可视化。

5 开放与交流

玉龙雪山站国际化水平高，有广泛的国际交流和合作，是业界知名的冰冻圈与可持续发展协同研究基地和国内外科技合作与交流平台。每年来站开展合作研究的科研院校超过10余所，来访人员1 000余人。近10年，接待大学生暑期实践实习和夏令营500多人次，为景区管理人员、游客及中小学生约2万人次提供科普宣传服务。先后承办相关冰冻圈研究国际会议3次，国内会议10余次。建站以来，200余位来自美国、加拿大、德国、法国、英国、瑞士、印度、日本、俄罗斯、挪威、瑞典等国家的科学家先后到玉龙雪山站开展合作研究和科学考察。玉龙雪山站还与中国科学院多个院所、香港大学、云南大学、武汉大学、中国南极测绘研究中心（武汉大学）、中国极地研究中心、同济大学、中国气象科学研究院、国家气候中心、兰州大学、南京大学等科研机构和高校建立了长期、实质性的科研合作关系。

（相关图片请见封三）

■责任编辑：张帆

引用格式:2023年度中国科学十大进展. 中国科学院院刊, 2024, 39(3): 582-587, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20240229002.
Top ten scientific advances in China, 2023. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2024, 39(3): 582-587, doi: 10.16418/j. issn. 1000-3045.20240229002. (in Chinese)

2023年度中国科学十大进展

“中国科学十大进展”遴选活动旨在宣传我国重大基础研究科学进展，激励广大科技工作者的科学热情，开展基础研究科学普及，促进公众了解、关心和支持基础研究，在全社会营造浓厚的科学氛围，已成为盘点我国基础研究领域年度重大科学成果的品牌活动。

2023年度第19届“中国科学十大进展”遴选活动由国家自然科学基金委员会主办，国家自然科学基金委员会高技术研究发展中心（基础研究管理中心）和科学传播与成果转化中心承办，《中国基础科学》《科技导报》《中国科学院院刊》《中国科学基金》《科学通报》5家编辑部协办，分为推荐、初选、终选、审议4个环节。共推荐了2022年12月1日至2023年11月30日期间正式发表的600多项科学研究成果；由近100位相关学科领域专家从中遴选出30项成果；在此基础上邀请了包括中国科学院院士、中国工程院院士在内的2 100多位基础研究领域高水平专家对30项成果进行投票，评选出10项重大科学研究成果；经国家自然科学基金委员会咨询委员会审议，最终确定入选2023年度“中国科学十大进展”的成果名单。

1 人工智能大模型为精准天气预报带来新突破

天气预报是国际科学前沿问题，具有重大的社会价值。现有数值天气预报范式源于20世纪50年代，即通过超算平台的大规模计算来求解大气运动偏微分方程组，实现对未来天气的预报。近些年使用该传统方法提升预报水平面临越来越大的挑战。华为云计算技术有限公司田奇、毕恺峰、谢凌曦等基于人工智能技术，提出了一种适配地球坐标系统的三维神经网络（图1），能够有效处理天气数据中的复杂过程，并通过层次化时域聚合策略来有效减少迭代误差，成功实现了精准的中期天气预报。在1979—2017年全球天气再分析数据上训练后，构建了盘古气象大模型。该模型能够预报7天内的地表层和13个高空层的温度、气压、湿度、风速等气象要素，并将全球最先进的欧洲中长期天气预报中心（ECMWF）集成预报系统的预报时效提高了0.6天左右，在热带气旋的路径预报误差相较于ECMWF预报系统降低了25%。该模型仅需10秒即

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.20240229002
CSTR 32128.14.CASbulletin.20240229002

可完成全球7天重要气象要素的预报，计算速度较数值方法提升1万倍以上。该研究展示了人工智能和大数据在解决天气预报问题上的突破。

2 揭示人类基因组暗物质驱动衰老的机制

人类基因组是生命活动的“密码本”，它控制器官再生和机体稳态，亦影响器官退行及衰老相关疾病的发生。在该密码本中，素有“暗物质”之称的非编码序列约占98%，其中约8%为内源性逆转录病毒元件，为数百万年前古病毒整合到人类基因组中的遗迹。古病毒序列在衰老过程中的作用及其机制是尚未开拓的科学疆域。中国科学院动物研究所刘光慧、曲静和中国科学院北京基因组研究所张维绮等利用多学科交叉手段，揭示人类基因组中沉睡的古病毒“化石”在细胞衰老过程中，可因表观遗传失稳等因素被再度唤醒、进而包装形成病毒样颗粒并驱动细胞和器官衰老的重要现象（图2）。并据此提出古病毒复活介导衰老程序性及传染性的理论，以及阻断古病毒复活或扩散以实现延缓衰老的多维干预策略。通过对人类基因组中蛋白编码区域的“逆老”基因进行系统排查，发现可重启人类干细胞、运动神经元和心肌细胞活力，逆转关节软骨、脊髓及心脏衰老的新型分子靶标，并构建一系列针对器官退行的创新干预体系。以上发现为衰老生物学和老年医学研究建立了新的理论框架，为衰老及老年慢病的科学干预和积极应对人口老龄化奠定了有益的基础。

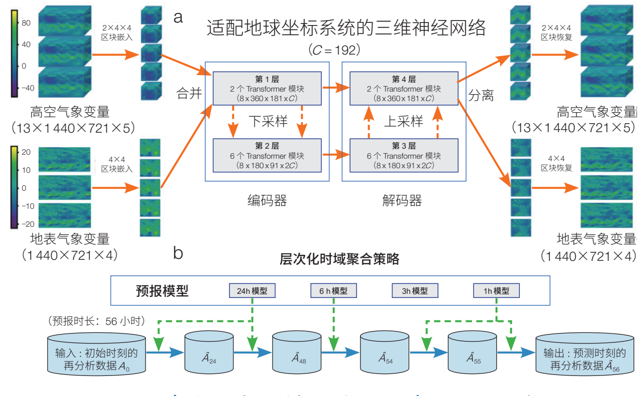


图1　盘古气象大模型的三维神经网络结构

3 发现大脑“有形”生物钟的存在及其节律调控机制

昼夜节律紊乱与睡眠障碍、精神抑郁相关，严重时可导致肿瘤、糖尿病等重大疾病的发生和发展。由于缺乏对生物节律调节机制的认识，当前国际上尚未研发出针对节律紊乱性疾病的有效治疗药物。军事科学院军事医学研究院/南湖实验室李慧艳、张学敏等发现大脑视交叉上核（SCN）神经元的初级纤毛，这一细胞“天线”样结构，每24小时伸缩1次，犹如生物钟的指针（图3）。初级纤毛通过调控SCN区神经元的“同频共振”调节节律，其机制与Shh信号通路密切相关。因此，SCN神经元的初级纤毛作为机体中“中央生物钟”的结构基础，参与生物钟内稳态的维持，而靶向SCN初级纤毛的Shh信号通路是治疗与昼夜节律紊乱相关人类疾病的潜在治疗策略。该“有形”生物钟的发现，对于理解生物钟的构造以及分子层面与细胞层面生物钟的联系具有重要意义。

4 农作物耐盐碱机制解析及应用

土壤盐碱化又称土壤盐渍化，是指土壤中积聚

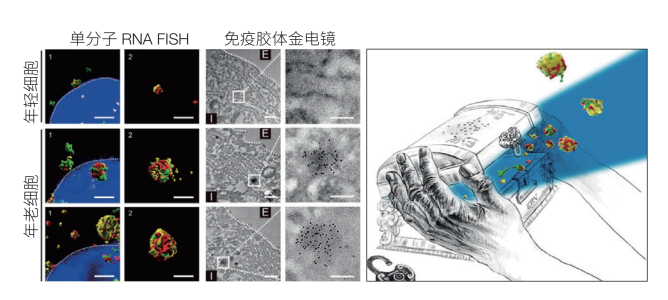


图2　古病毒复活开启衰老的潘多拉魔盒



图3　初级纤毛——生物钟的“有形”指针



图4　利用*AT1*成果培育的甜高粱在宁夏平罗盐碱地生长情况

盐分形成盐碱土的过程。我国有近15亿亩盐碱地，其中高pH值的苏打盐碱地约占60%。据估计，约5亿亩盐碱地具有开发利用潜能。长期以来，我们对植物耐盐碱性的机制认识尚有不足，阻碍了耐盐碱作物的培育和盐碱地的开发利用。中国科学院遗传与发育生物学研究所谢旗、中国农业大学于菲菲、华中农业大学欧阳亦聃等研究团队合作利用起源于非洲萨赫勒高盐碱地的高粱自然群体材料定位克隆到一个与耐碱性显著相关的主效基因*AT1*，并揭示了*AT1*在碱胁迫条件下调控水通道蛋白磷酸化水平来促进植物细胞中H_2O_2的外排从而赋予植物高耐盐碱性的机制。在盐碱地进行大田实验发现，基于耐盐碱等位基因*AT1*改良的作物耐盐碱能力显著提高，其中水稻、高粱和谷子等粮食作物均有效增产20%—30%（图4）。该研究为综合利用盐碱地和保障粮食安全提供了新思路。

5 新方法实现单碱基到超大片段DNA精准操纵

基因组编辑在生物学和医学领域具有广阔的应用前景。然而，基因组编辑在编辑精度、DNA操控尺度和灵活性等方面仍有较大的限制。中国科学院遗传与发育生物学研究所高彩霞团队联合北京齐禾生科生物科技有限公司赵天萌团队利用人工智能辅助的大规模蛋白结构预测方法对基因组编辑新酶进行发掘。他们建立了基于三级结构的全新蛋白聚类分析方法，鉴定出多个全新脱氨酶家族成员，并开发了一系列适用于多样化应用场景的新型碱基编辑工具，解决了利用单个AAV进行递送和大豆高效碱基编辑的难题。为突破植物大尺度DNA精准操纵的瓶颈，他们整合优化引导编辑系统与位点特异性重组酶，开发了植物大片段DNA精准定点插入技术PrimeRoot，可实现对10 kb以上大片段DNA的高效定点整合。此外，他们通过对基因上游开放阅读框的从头设计与理性改造，开发了精细下调靶蛋白表达的全新技术体系，并创制了产量相关性状呈梯度变化的系列水稻新种质，为作物性状精细改良提供了新方法（图5）。以上研究通过开展基因组编辑元件挖掘方法和技术体系创新，实现了对基因组的精准操纵，为作物改良和基因治疗提供了重要

支撑。

6 揭示人类细胞DNA复制起始新机制

DNA复制起始的精准调控是维持人类基因组稳定、抑制遗传疾病和癌症发生的关键生命过程之一。6个MCM基因编码的MCM2-7蛋白的双六聚体（DH）在成千上万个复制原点的组装是解开双链DNA和启动复制的必经过程。但是MCM-DH在染色体上具体的组装和作用机制尚不清楚。香港大学翟元梁、香港科技大学党尚宇、戴碧瓘等解析了人类MCM-DH复合物（hMCM-DH）的2.59-Å高分辨率冷冻电镜结构。在该结构中，hMCM-DH可直接降低DNA双链的稳定性，将位于2个六聚体结合处的DNA双链解开，并拉伸产生初始的开口结构（IOS）。IOS在基因组中成簇且广泛地分布于无转录活性的基因间区，并与偶发的DNA复制起始区域高度重合。干扰IOS会抑制hMCM-DH的形成，进而抑制相应DNA复制的启动。该研究不仅揭示了人类MCM-DH组装及初始DNA解旋以促进复制起始的新机制，也为开发以DNA复制为靶标的抗癌药物提供了重要基础（图6）。

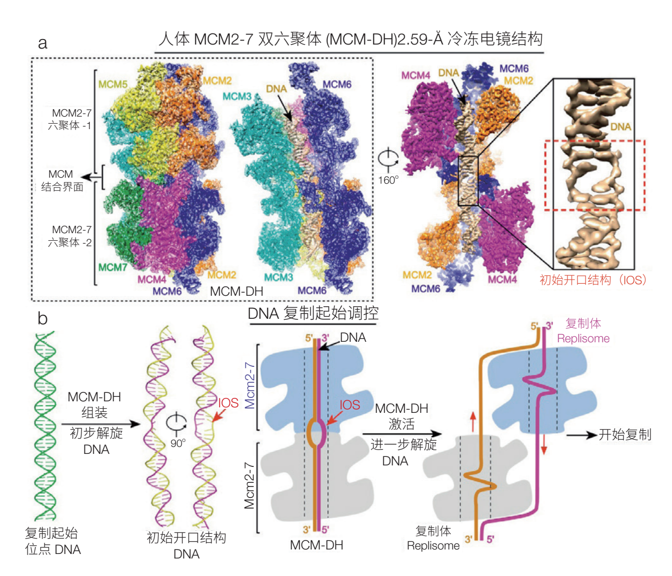


图6 人体MCM2-7双六聚体（MCM-DH）冷冻电镜结构及DNA复制起始调控步骤

7 “拉索”发现史上最亮伽马暴的极窄喷流和10万亿电子伏特光子

伽马射线暴是宇宙大爆炸之后最剧烈的天体爆炸现象，万亿电子伏特（TeV）以上辐射观测对揭示其爆炸过程、辐射机制和探索新物理前沿都具有重要意义。2022年10月9日史上最亮的伽马射线暴GRB 221009A爆发信号飞越24亿光年的时空抵达地球。由中国科学院高能物理研究所曹臻领导的高海拔宇宙线观测站（简称“拉索”，英文LHAASO）国际合作组凭借拉索前所未有的高灵敏度和大视场优势，在国际上首次完整记录了伽马射线暴万亿电子伏特以上高能光子爆发的全过程，包括高能光子亮度在早期的快速增强过程，以及后期亮度突然快速减弱，由此确定此伽马射线暴的极端相对论喷流具有迄今已知最小的张角，揭开了此伽马射线暴成为史上最亮的秘密。拉索还精确测量了该伽马射线暴亮度随光子能量的变化，发现其亮度随能量变化的规律保持稳定，观测能谱延伸至10万亿电子伏特以上，超出了理论预期，挑战了伽马射线暴余辉辐射的标准模型（图7）。

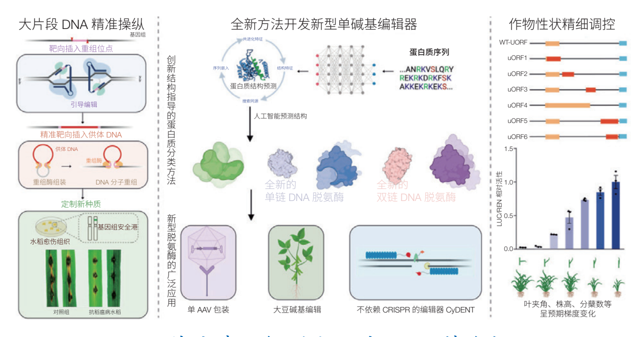


图5 单碱基编辑到大尺度DNA精准操纵

8 玻色编码纠错延长量子比特寿命

目前超导量子比特的错误率离实用化还相差十多个数量级，需要进行量子纠错以构建错误率更低的逻辑量子线路。量子纠错旨在充分利用无限维希

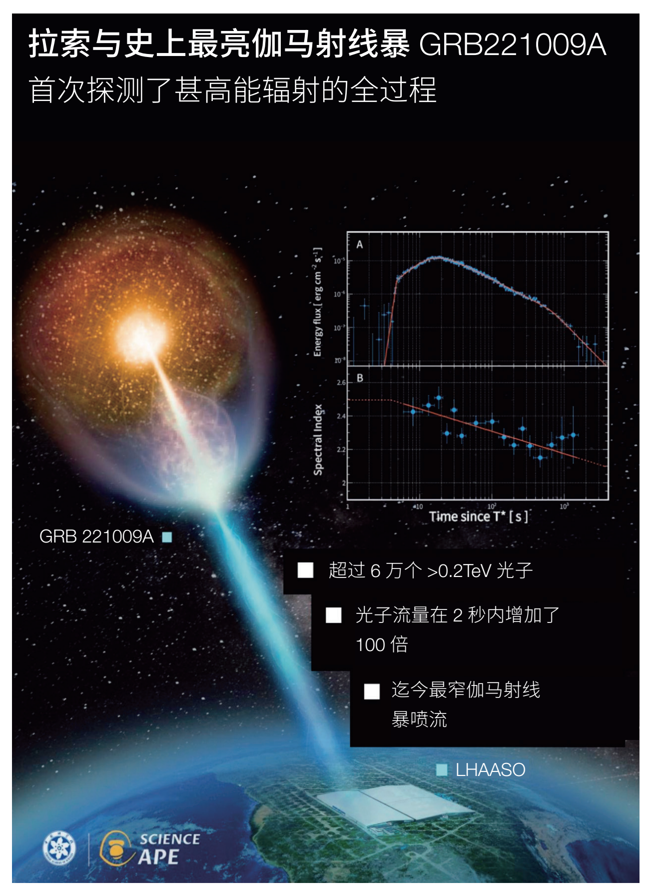


图 7　拉索观测到的伽马暴 GRB 221009A 高能光子爆发的全过程

尔伯特空间的冗余度来保护逻辑量子比特免受噪声的干扰。通过对错误的实时探测和纠正，逻辑量子比特的相干寿命将得以延长。然而，传统的量子纠错过程通常会不可避免地引入新的错误，使得量子纠错面临“越纠越错”的尴尬局面。如何使编码保护的逻辑量子比特的寿命超过体系中最佳物理量子比特，超越盈亏平衡点，是衡量量子纠错是否有效的关键判据。南方科技大学俞大鹏、徐源，福州大学郑仕标，清华大学孙麓岩等展示了一种基于超导电路量子电动力学架构的量子纠错方法，其核心技术是将逻辑量子比特二项式编码在一个与辅助超导比特色散耦合的微波谐振腔的离散光子数态中，其编码子空间与错误子空间严格正交。通过在辅助比特上施加截断频率梳脉冲，可高保真度地重复读取错误症状，并通过实时反馈控制反复纠正错误，从而有效延长逻辑量子比特的相干寿命，并超越盈亏平衡点达 16%，实现了量子纠错正增益。该研究展示了量子纠错的优越性，表明了硬件高效的离散变量编码在容错量子计算中的潜力（图 8）。

9　揭示光感受调节血糖代谢机制

光是生命最重要的外部环境因素之一，可调节一系列重要生理与病理过程。公共卫生研究表明，人造光是代谢紊乱的高危因素，例如夜间光污染会显著增加糖尿病等代谢性疾病风险。然而，光对血糖代谢调节的生物学机制不明。中国科学技术大学薛天等揭示了光调控生物（小鼠和人）血糖代谢的神经机制。在动物模型上发现光信号被眼内的视网膜固有光敏神经节细胞（ipRGCs）接收后，通过下丘脑视上核 AVP 神经元、脑干孤束核 GABA 抑制性神经元，经交感神经最终到达棕色脂肪组织。光通过这一多级神经环路抑制棕色脂肪的交感神经活动，降低脂肪组织消耗血糖引起的产热，导致机体血糖代谢能力下降。更为重要的是发现在人体上同样存在类似的光感受调节血糖代谢的机制，蓝光污染显著降低人体消耗血糖的能力。该研究发现全新的“眼-脑-外周脂肪轴”介导光对血糖代谢产热的调节机制，为防治光污染导致的糖代谢紊乱相关疾病提供了理论依据与潜在的干预靶点（图 9）。

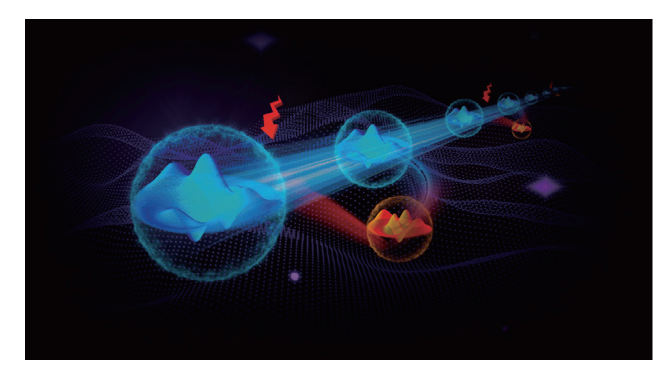


图 8　量子纠错过程

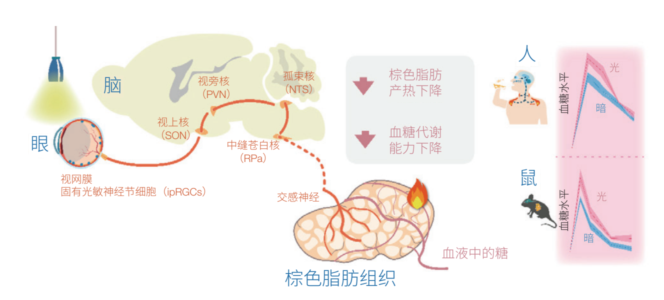


图9　“眼-脑-棕色脂肪轴”介导光调节血糖代谢神经机制

10 发现锂硫电池界面电荷存储聚集反应新机制

锂硫电池具有极高的能量密度（理论值：2600 Wh/kg）和较低的成本，然而受限于传统原位表征工具的时空分辨率及锂硫体系的不稳定性和环境敏感性等因素，在原子/纳米尺度上对锂硫电池界面反应的理解尚不深入。厦门大学廖洪钢、孙世刚和北京化工大学陈建峰等开发高时空分辨电化学原位液相透射电镜技术，耦合真实电解液环境和外加电场，实现对锂硫电池界面反应原子尺度动态实时观测和研究。发现电池活性材料表面分子聚集成为分子团进行反应，电荷转移可以首先存储在聚集分子团中，分子团得到电子但不会发生转化，直到获得足够电子后瞬时结晶转化。而没有活性的材料表面遵循经典的单分子反应途径，多硫化锂分子逐步转化为Li_2S。模拟计算表明，活性中心与多硫化锂之间的静电作用促进了Li^+和多硫分子的聚集，证实分子聚集体中的电荷可以自由转移。近百年来，电化学界面反应通常被认为仅存在“内球反应”和“外球反应”单分子途径。该研究揭示了电化学界面反应存在第3种“电荷存储聚集反应”机制，加深了对多硫化物演变及其对电池表界面反应动力学影响的认识，为下一代锂硫电池设计提供指导（图10）。

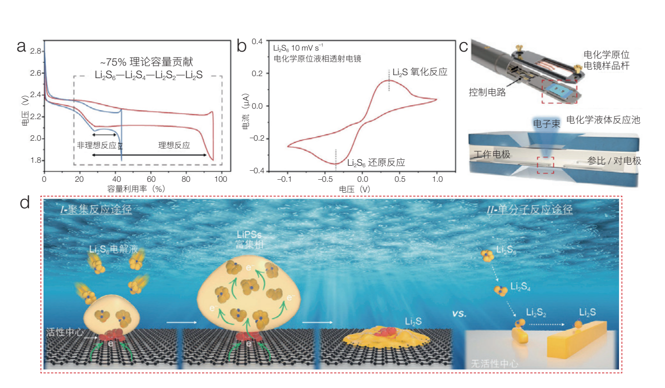


图10　电化学原位透射电子显微镜技术研究锂硫电池界面反应

■责任编辑：张帆